

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-316528

(43)Date of publication of application : 29.11.1996

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 07-314339

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 01.12.1995

(72)Inventor : NAKAMURA SHUJI
IWASA SHIGETO
NAGAHAMA SHINICHI

(30)Priority

Priority number : 06299446 Priority date : 02.12.1994 Priority country : JP

06299447 02.12.1994

06305258 09.12.1994 JP

06305259 09.12.1994

07 57050 16.03.1995 JP

07 57051 16.03.1995 JP

JP

JP

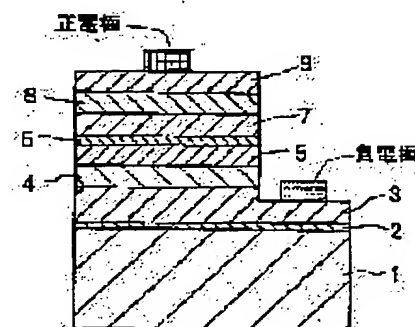
JP

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide not only a green LED but also a nitride semiconductor light emitting device which emits light of wavelengths of 360nm or above and is high in brightness and output power.

CONSTITUTION: A first N-type nitride semiconductor clad layer 5 and/or a first P-type nitride semiconductor clad layer 7 are formed coming into contact with an active layer 6 of indium-containing nitride semiconductor. The first N-type clad layer 5 is smaller than the active layer 6 in thermal expansion coefficient, and the first P-type clad layer 7 is smaller than the active layer 6 in thermal expansion coefficient. The active layer 6 is of single quantum well structure or multi-quantum well structure, whereby it is made to emit light of lower energy than the intrinsic band gap energy of nitride semiconductor which forms the active layer 6.



LEGAL STATUS

19)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-316528

(43) 公開日 平成8年(1996)11月29日

(51) Int.Cl.^B

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-314339

(22) 出願日 平成7年(1995)12月1日

(31) 優先権主張番号 特願平6-299446

(32) 優先日 平6(1994)12月2日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-299447

(32) 優先日 平6(1994)12月2日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-305258

(32) 優先日 平6(1994)12月9日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 岩佐 成人

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

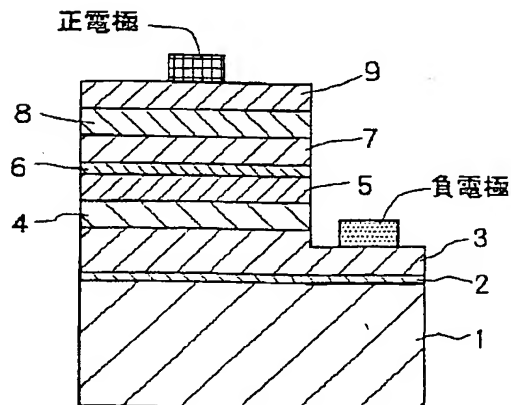
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 緑色LEDのみならず360nm以上の発光波長で高輝度、高出力の窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 少なくともインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層6に接して、n型の窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層5および/またはp型の窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層7を形成する。第1のn型クラッド層5は、活性層6よりも小さい熱膨張係数を有し、第1のp型クラッド層7も、活性層6よりも小さい熱膨張係数を有する。活性層6は単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とされ、これにより活性層6を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型の窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層と、p型の窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層との間に、少なくともインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該第1のn型クラッド層は、該活性層よりも小さい熱膨張係数を有し、該第1のp型クラッド層は、該活性層よりも小さい熱膨張係数を有し、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることにより、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 活性層が、厚さ100オングストローム以下の井戸層を有することを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 第1のn型クラッド層が、n型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) で形成されたことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 第1のp型クラッド層が、p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) で形成されたことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 第1のn型クラッド層に接してn型の窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を備えることを特徴とする請求項1または3記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 第2のn型クラッド層がn型 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a \leq 1$) で形成されたことを特徴とする請求項5記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 第1のp型クラッド層に接してp型の窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を備えることを特徴とする請求項1または4記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項8】 前記第2のp型クラッド層が、p型の $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) で形成されたことを特徴とする請求項7に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項9】 活性層が、ノンドープのものであることを特徴とする請求項1ないし8のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項10】 活性層にドナー不純物および／またはアクセプター不純物がドーピングされていることを特徴とする請求項1ないし8のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項11】 インジウムを含むn型窒化物半導体またはn型 GaN からなる第1のn型クラッド層を備え、該第1のn型クラッド層に接して、該第1のn型クラッド層よりも熱膨張係数が大きいインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることによって、該活性層の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒

化物半導体発光素子。

【請求項12】 第1のn型クラッド層と活性層との総膜厚が300オングストローム以上であることを特徴とする請求項11記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項13】 活性層が、ノンドープのものであることを特徴とする請求項11または12記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項14】 インジウムを含む窒化物半導体よりなる単一量子井戸構造もしくは多重量子井戸構造の活性層を備え、該活性層に接して、該活性層よりも熱膨張係数が小さいアルミニウムを含むp型窒化物半導体からなる第1のp型クラッド層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることによって、該活性層の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項15】 活性層が、ノンドープのものであることを特徴とする請求項15記載の窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する分野】本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等の半導体発光素子に係り、特に、窒化物半導体($\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$, $0 \leq a$, $0 \leq b$, $a+b \leq 1$)から構成される半導体積層構造を有する窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体($\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$, $0 \leq a$, $0 \leq b$, $a+b \leq 1$)は、紫外ないし赤色に発光するLED、LD等の発光素子の材料として期待されている。事実、本出願人は、この半導体材料を用いて、1993年11月に光度1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cdの青色LEDを発表した。これらのLEDは全て製品化されて、現在ディスプレイ、信号等の実用に供されている。

【0003】そのような青色、青緑色LEDの発光チップは、基本的には、サファイア基板の上に、n型 GaN よりなるn型コンタクト層と、n型 AlGaIn よりなるn型クラッド層と、n型 InGaIn よりなる活性層と、p型 AlGaIn よりなるp型クラッド層と、p型 GaIn よりなるp型コンタクト層とが順に積層された構造を有している。サファイア基板11とn型コンタクト層との間には、 GaIn 、 AlGaIn または AlIn よりなるバッファ層が形成されている。活性層を形成するn型 InGaIn には、 Si 、 Ge 等のドナー不純物および／または Zn 、 Mg 等のアクセプター不純物がドーピングされている。このLED素子の発光波長は、その活性層の InGaIn の In 含有量を変えるか、または活性層にドーピングする不純物の種類を変えることにより、紫外領域から赤色

まで変化させることが可能である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記LED素子は発光波長が長くなるに従って、発光出力が大きく低下するという問題がある。図4は従来のLED素子のピーク発光波長と発光出力の関係を示す図である。このLEDでは活性層のInGa_NにZnとSiとをドーブし、Znの準位を介して発光させることにより発光波長をInGa_Nのバンド間発光よりも発光エネルギーで約0.5eV小さくして発光波長を長くしている。図4に示すように、従来のLEDは、450nmでは3mW付近の出力を示すのに対し、発光ピークが長波長に移行するに従ってその出力は大きく減少し、550nmでは出力が0.1mW以下にまで低下している。例えば、450nm発光のLEDにおける活性層はIn_{0.05}Ga_{0.95}Nであり、500nm発光のLEDにおける活性層はIn_{0.18}Ga_{0.82}Nであり、550nm発光のLEDにおける活性層はIn_{0.25}Ga_{0.75}Nであり、さらに各活性層にはZnがドーブされている。このように、不純物がドーブされたInGa_N活性層、より詳しくは、In_xGa_{1-x}N (0 ≤ x < 1) 活性層は、In含有量が増えると結晶性が悪くなり発光出力は大きく低下する。このため実際に使用できるIn含有量すなわちx値はおよそ0.15以下でしか、高出力のLEDができないのが現状であるので、青色LEDしか高出力のものは実現されていない。しかも、Znをドーブして発光させているので半値幅が約70nmと広く、青色の色純度に劣る。

【0005】ところで、高出力の青色LEDが実用化された現在、緑色LEDだけが色調、発光出力とも他のLEDに比べて劣っている。例えばフルカラーLEDディスプレイを赤色LED、緑色LED、青色LED各一個づつで実現する際には、緑色LEDが最も大きい光度を有していなければならない。しかし、緑色LEDの光度は未だ低く、青色LED、赤色LEDと全くバランスがとれないのが実状である。

【0006】窒化物半導体はバンドギャップエネルギーが1.95eV～6.0eVまでであるので、理論的には赤色から紫外まで広帯域に発光する材料である。窒化物半導体発光素子の長波長域の出力を向上させることができれば、従来のGaAs、AlInGaP系の材料に代わり、窒化物半導体で全ての可視領域の波長での発光が実現できる可能性がある。

【0007】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、緑色LEDのみならず360nm以上の発光波長で高輝度、高出力の窒化物半導体発光素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】従来のLEDは、活性層を不純物をドーブしたInGa_Nにより形成している。

前記のようにInGa_NのIn組成比を大きくするとInGa_Nバンド間発光により、発光波長を長波長側に移行できる。しかし、窒化物半導体はInのモル比を大きくするに従い結晶性が悪くなる傾向にあるので、発光出力が低下する、と推察される。そこで、本発明者らは発光素子の発光波長を長波長側に移行させるに際し、ダブルヘテロ構造の窒化物半導体構造における活性層に引っ張り応力を与えることにより、発光波長を長波長側にシフトさせ、しかも発光出力が高い発光素子を実現できることを新たに見出した。

【0009】すなわち、本発明によれば、n型の窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層と、p型の窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層との間に、少なくともインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該第1のn型クラッド層は、該活性層よりも小さい熱膨張係数を有し、該第1のp型クラッド層は、該活性層よりも小さい熱膨張係数を有し、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることにより、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0010】また、本発明によれば、インジウムを含むn型窒化物半導体またはn型Ga_Nからなる第1のn型クラッド層を備え、該第1のn型クラッド層に接して、該第1のn型クラッド層よりも熱膨張係数が大きいインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることによって、該活性層の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【0011】さらに、本発明によれば、インジウムを含む窒化物半導体よりなる単一量子井戸構造もしくは多重量子井戸構造の活性層を備え、該活性層に接して、該活性層よりも熱膨張係数が小さいアルミニウムを含むp型窒化物半導体からなる第1のp型クラッド層を備え、該活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とすることによって、該活性層の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光させるようにしたことを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0012】すなわち、本発明においては、活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造として、この活性層とクラッド層との界面平行方向に、引っ張り応力を加え、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも小さいエネルギーを持つ光を発光させるのである。

【0013】ところで、InNのバンドギャップエネルギー(1.96eV)をE_{g1}で、Ga_Nのバンドギャップエネルギー(3.40eV)をE_{g2}で表わすと、

窒化物半導体 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の本来のバンドギャップエネルギー E_g は、式

$$E_g = E_{g1} \cdot x + E_{g2} \cdot (1-x) - x(1-x)$$

により算出することができる。活性層の本来の発光波長 λ は、 $\lambda = 1240/E_g$ に相当する。

【0014】なお、単一量子井戸構造とは、井戸層が一層よりなる構造を指す。すなわち、単一量子井戸構造の活性層は、単一の井戸層だけで構成される。また、多重量子井戸構造とは、井戸層と障壁層を交互に積層した多層膜構造を指す。この多層膜構造において、両側の2つ最外層は、それぞれ井戸層により構成される。

【0015】

【作用】本発明の素子は、第1のn型クラッド層および第1のp型クラッド層よりも熱膨張係数の大きい活性層を形成して、両クラッド層と活性層の界面に平行な方向で引っ張り応力を発生させている。引っ張り応力を活性層に弾性的に作用させるために、活性層を単一量子井戸構造または多重量子井戸構造として、活性層のバンドギャップエネルギーを小さくし、活性層の発光波長を長くする。また、活性層の井戸層、障壁層を臨界膜厚まで薄くしたことにより、 In 組成比が大きい InGaIn でも結晶性よく成長できる。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の一態様による窒化物半導体発光素子の構造の一例を示す概略断面図である。図1に示す窒化物半導体素子は、基板1上に、バッファ層2、n型コンタクト層3、第2のn型クラッド層4、第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7、第2のp型クラッド層8、およびp型コンタクト層9が順に積層された構造を有する。

【0017】活性層6は、 In を含む窒化物半導体で形成され、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造のものである。 In を含む活性層6は、他の AlGaIn 、 GaIn 等の窒化物半導体に比べて柔らかく、熱膨張係数も大きいので、例えば単一量子井戸構造の井戸層の膜厚を薄くすることにより発光波長を変化させることができる。量子井戸構造の活性層6はn型、p型のいずれでもよいが、特にノンドープ（不純物無添加）とすることによりバンド間発光により発光波長の半値幅が狭くなり、色純度のよい発光が得られるため好ましい。特に活性層6の井戸層の組成を $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 1$) とすると、バンド間発光で波長を紫外から赤色まで発光させることができ、クラッド層との熱膨張係数差の大きい活性層を実現することが可能である。一方、多重量子井戸構造の場合、障壁層は特に InGaIn で形成せずに GaIn で形成してもよい。

【0018】第1のn型クラッド層5は、活性層6よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ活性層よりも熱膨張係数が小さい窒化物半導体であればどのような

組成のもので形成してもよいが、特に好ましくはn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) により形成する。 InGaIn 、または GaIn よりなるn型の第1のクラッド層5は、 Al を含む窒化物半導体に比べて、結晶が柔らかいので、この第1のクラッド層5がバッファ層のような作用をする。つまりこの第1のクラッド層5がバッファ層として作用しているために、活性層6を量子井戸構造としても活性層6にクラックが入らず、また第1のクラッド層5、7の外側に形成される第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8中にクラックが入るのを防止することができる。

【0019】第1のp型クラッド層7は、活性層6を構成する窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ活性層6よりも熱膨張係数が小さいp型窒化物半導体であればどのような組成のもので形成してもよいが、好ましくはp型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) で形成する。その中でも、p型 AlGaIn 等の Al を含む窒化物半導体は、多重量子井戸構造または単一量子井戸構造よりなる活性層に接して形成することにより、発光出力を向上させる。

【0020】また、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層7のいずれかを省略することもできる。第1のn型クラッド層5を省略する場合は、第2のn型クラッド層4が第1のn型クラッド層5となり、また第1のp型クラッド層7を省略する場合は第2のp型クラッド層が第1のp型クラッド層5となる。但し、活性層には、n型 GaIn もしくはn型 InGaIn よりなる第1のn型クラッド層5が接して形成されていることが好ましい。

【0021】本発明の素子は、前記第1のn型クラッド層5に接して、n型の窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層4を備えることができる。第2のn型クラッド層4は、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a \leq 1$) で形成することが望ましい。但し、第1のn型クラッド層5が InGaIn で形成されている場合は、この第2のn型クラッド層4を GaIn または AlGaIn で形成することができる。 Al を含む窒化物半導体は熱膨張係数が小さく、また結晶自体が硬いので、第2のn型クラッド層4を第1のn型クラッド層5に接して形成すると、活性層にさらに大きな引っ張り応力を加えて、発光波長を長波長側にシフトさせることが可能である。但し、活性層6に接して Al を含む第2のn型クラッド層4を形成する場合には、活性層の反対側の主面には、バッファ層となる第1のp型クラッド層7を InGaIn 、 GaIn 等で形成することが望ましい。

【0022】第2のn型クラッド層4は、n型 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) により、50オングストロームないし $1\mu\text{m}$ の膜厚で形成することが望ましい。第2のn型クラッド層をこの範囲内の膜厚で形成することにより、活性層6に好ましい引っ張り応力を与えることがで

きる。また、 $Al_a Ga_{1-a}N$ における a 値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましい。なぜなら、前記のように第1のn型クラッド層5により、この第2のn型クラッド層4にはクラックが入りにくくなっているが、それでも $AlGaN$ は結晶が硬く、 a 値が0.6より大きいと $AlGaN$ 層にクラックが発生しやすいからである。また、一般に Al の混晶比(a 値)が多くなるに従って、活性層6の発光波長が長波長となる傾向にある。

【0023】また、本発明の素子では、第1のp型クラッド層7に接して、p型の窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層8を備えることもできる。第2のp型クラッド層8は、 $Al_b Ga_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$)で形成することが望ましい。但し、第1のp型クラッド層7が $AlGaN$ で形成されている場合は、この第2のp型クラッド層8をコンタクト層として GaN で形成することができる。活性層6に接して Al を含む第2のp型クラッド層8を形成する場合には、活性層6の反対側の主面(n層側)には、バッファ層となる GaN 、 $InGaN$ 等の第1のn型クラッド層5が接して形成されていることが望ましい。

【0024】この第2のp型クラッド層8の作用も前記第2のn型クラッド層4の作用と同じであり、第2のp型クラッド層8は500Å以下の厚さで形成することが望ましい。また、第2のp型クラッド層8を構成する $Al_b Ga_{1-b}N$ における b 値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましく、一般に Al の混晶比(b 値)が多くなるに従って活性層の発光波長が長波長となる傾向にある。

【0025】このように Al を含む窒化物半導体層または GaN 層を前記第2のn型クラッド層4、前記第2のp型クラッド層8とすることにより、 In を含む活性層6、第1のn型、p型クラッド層5、7とのバンドオフセットを大きくできるので発光効率を上げることができる。しかも活性層6との熱膨張係数差を大きくして、活性層の発光波長を長波長に移行させることが可能となる。

【0026】ここで、活性層とクラッド層の好ましい組み合わせを述べる。まず、活性層6と第1のクラッド層5、7の組み合わせは、第1のn型クラッド層を $In_x Ga_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$)で形成し、活性層を $In_z Ga_{1-z}N$ ($0 < z < 1$)を含む量子井戸構造とし、第1のp型クラッド層を $Al_y Ga_{1-y}N$ ($0 < y < 1$)で形成することである。但し、これらの組み合わせにおいて、バンドギャップエネルギーの関係から $x < z$ の条件を満たしていることはいうまでもない。活性層6は、単一量子井戸構造の場合では井戸層を100Å以下の厚さに形成し、多重量子井戸構造では井戸層を100Å以下の厚さに、および障壁層を150Å以下の厚さに形成する。い

れの量子井戸構造の活性層でも、n型またはノンドープとするとバンド間発光による半値幅の狭い発光が得られるので最も好ましい。

【0027】次に、最も好ましい組み合わせは、第2のn型クラッド層4を $Al_a Ga_{1-a}N$ ($0 \leq a \leq 1$)で形成し、第1のn型クラッド層5を $In_x Ga_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$)で形成し、活性層6を $In_z Ga_{1-z}N$ ($0 < z < 1$)を含む量子井戸構造とし、第1のp型クラッド層7を $Al_y Ga_{1-y}N$ ($0 \leq y < 1$)で形成し、第2のp型クラッド層8を $Al_b Ga_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$)で形成することである。この組み合わせの場合は、第1のn型クラッド層5、第1のp型クラッド層7のいずれか一方または両方を省略してもよい。省略した場合、前記のように、第2のn型クラッド層4または第2のp型クラッド層8が、それぞれ第1のクラッド層として作用する。この組み合わせによると、第1のクラッド層5、7と活性層6だけでは、活性層6に十分な引っ張り応力が得られない場合に、第1のクラッド層5、7の外側にさらに Al を含む第2のクラッド層を形成して、第2のクラッド層4、8の熱膨張係数と活性層6の熱膨張係数の差を大きくすることができる。従って、活性層6を膜厚の薄い井戸層と障壁層との多重量子井戸構造、又は井戸層のみの単一量子井戸構造とすることにより、界面に作用する引っ張り応力により、活性層のバンドギャップが小さくなり、発光波長が長波長側にシフトされ得る。

【0028】さらに、本発明の素子の好ましい態様において、インジウムを含むn型窒化物半導体またはn型 GaN により第1のn型クラッド層5を形成する場合に、前記第1のn型クラッド層と前記活性層6との総膜厚を300Å以上に調整する。この総膜厚を300Å以上とすることにより、 GaN 、 $InGaN$ がバッファ層の作用をして、活性層を好ましい量子井戸構造とすることができ、さらに第1のp型クラッド層7、第2のp型クラッド層8にクラックが入るのを防止できる。

【0029】なお、本発明において、前記 $In_x Ga_{1-x}N$ 、 $In_y Ga_{1-y}N$ 、 $In_z Ga_{1-z}N$ とは、その式中において $InGaN$ の効果を変化させない範囲で Ga または In の一部を極微量の Al で置換した $InAlGa$ も前記式中に含まれるものとする。同様に $Al_a Ga_{1-a}N$ 、 $Al_b Ga_{1-b}N$ においても、その式中において $AlGa$ の効果を変化させない範囲で Ga または Al の一部を極微量の In で置換した $InAlGa$ も前記式中に含まれるものとする。

【0030】さらにまた、活性層6にドナー不純物および/またはアクセプター不純物をドーピングしてもよい。不純物をドーピングした活性層の結晶性がノンドープと同じであれば、ドナー不純物をドーピングすると、ノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることがで

きる。アクセプター不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低エネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広くなる。アクセプター不純物とドナー不純物との両者をドーピングすると、アクセプター不純物のみをドーピングした活性層の発光強度に比べその発光強度をさらに大きくすることができる。特に、アクセプター不純物をドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電性はSi等のドナー不純物をもドーピングしてn型とすることが好ましい。しかし、本発明では活性層はバンド間発光で強力に発光するのが理想であるので、活性層をノンドーピングのInGa_{0.95}Nで形成することが最も好ましい。活性層に不純物をドーピングするとノンドーピングのものよりも結晶性が悪くなる傾向にある。また、ノンドーピングのInGa_{0.95}Nを活性層とした発光素子は、不純物をドーピングした発光素子よりもV_f（順方向電圧）を低くすることができる。

【0031】多重量子井戸構造の活性層は、例えばInGa_{0.95}N/GaN、InGa_{0.95}N/InGa_{0.95}N（組成が異なる）等の組み合わせで、それぞれの井戸層+障壁層を積層した薄膜積層構造である。活性層を多重量子井戸構造とすると、単一量子井戸構造の活性層よりも発光出力が向上する。多重量子井戸構造の活性層において、井戸層の厚さは、数オングストローム～数十オングストロームにし、障壁層も同様に数オングストローム～数十オングストロームの厚さとし、井戸層と障壁層とを積層して、多重量子井戸構造とする。その場合、井戸層は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下の膜厚が望ましい。この井戸層の膜厚の範囲は単一量子井戸構造の活性層（単一の井戸層により構成される）についても同様である。一方、多重量子井戸構造における障壁層は、150オングストローム以下、さらに好ましくは100オングストローム以下の厚さが望ましい。また、井戸層、障壁層にドナー、アクセプター不純物をドーピングして多重量子井戸構造を形成してもよい。このように膜厚の薄い層を多層に積層することにより、結晶内の歪みを活性層で弾性的に吸収することができる。

【0032】また、図1に示すように、第1のn型クラッド層5または第2のn型クラッド層4に接して電極を形成する層としてn型Ga_{0.95}Nよりなるn型コンタクト層3を形成することが好ましく、前記第1のp型クラッド層7または第2のp型クラッド層8に接して電極を形成する層としてp型Ga_{0.95}Nよりなるp型コンタクト層9を形成することが好ましい。但し、このコンタクト層3、9は、第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8がGa_{0.95}Nで形成されていれば、特に形成する必要はなく、第2のクラッド層4、8をコンタクト層とすることも可能である。Ga_{0.95}Nよりなるコンタクト層3、9を形成するのは、第1のクラッド層、第2のクラッド層のような3元以上の混晶は電極とオーミックコンタクトが得

られにくいからである。特に第2のクラッド層のようにAlを含む窒化物半導体は電極とオーミックコンタクトを得るのが困難である。従って最もオーミックコンタクトの得られやすいGa_{0.95}Nを電極とのコンタクト層に形成することによって、V_fが低く発光効率が高い発光素子を実現できる。

【0033】図2は単一量子井戸構造の活性層の厚さ、つまり井戸層の厚さと、発光素子の発光ピーク波長との関係を示す図である。なお、図2において線αは活性層がノンドーピングIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる発光素子を示し、線βは活性層がノンドーピングIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる発光素子を示している。両方とも発光素子の構造は第2のクラッド層と、第1のn型クラッド層と、活性層と、第1のp型クラッド層と、第2のp型クラッド層とを順に積層したダブルヘテロ構造である。第2のn型クラッド層は0.1μmのSiドーピングn型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなり、第1のn型クラッド層は500オングストロームのIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなり、第1のp型クラッド層は20オングストロームのMgドーピングp型In_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなり、第2のp型クラッド層は0.1μmのMgドーピングp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるダブルヘテロ構造である。図2では前記活性層の膜厚を変えた際に発光波長が変化することを示している。

【0034】線αで示すIn_{0.05}Ga_{0.95}N活性層は、本来のバンドギャップエネルギーでは380nm付近の紫外発光を示すが、膜厚を薄くすることにより420nm近くまで波長を長して青紫色の発光にできる。また線βで示すIn_{0.3}Ga_{0.7}N活性層は本来のバンドギャップエネルギーでは480nm付近の青緑色発光であるが、同じく膜厚を薄くすることにより、520nm近くの純緑色発光が得られる。このように第1のn型クラッド層と第1のp型クラッド層で挟まれた活性層の膜厚を薄くすることにより、発光波長を長波長にすることができる。つまり、通常の膜厚の厚い活性層ではその活性層のバンドギャップエネルギーに相当する発光しか示さないが、本発明の単一量子井戸構造の活性層では、井戸層の膜厚を薄くすることによって、バンドギャップエネルギーが小さくなり、元の井戸層のバンドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光、即ち長波長を発光させることが可能となる。しかもノンドーピングであるので、不純物をドーピングしたものよりも結晶性がよいので出力が高くなり、さらにバンド間発光で半値幅の狭い色純度に優れた発光が得られる。

【0035】また、従来の膜厚が厚いInGa_{0.95}Nで活性層を形成すると、活性層の結晶性が悪く、例えばIn組成比が0.3～0.5では結晶性が悪くなって発光出力が非常に低かったが、薄膜にすることにより、大きなIn組成比でも結晶性良く成長できるようになるという作用もある。

【0036】従って、本発明において、井戸層の膜厚は

100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下となるように形成することが望ましい。図2は本発明の素子による発光素子の一例を示したものであるが、発光波長が長波長側に移行する波長範囲は、活性層に引っ張り応力を与える第2のクラッド層、第1のクラッド層の組成によっても異なり、またそれらの組成によって活性層の好ましい膜厚も多少変化する。

【0037】窒化物半導体において、AlNの熱膨張係数は $4.2 \times 10^{-6}/K$ であり、GaNの膨張係数は $5.59 \times 10^{-6}/K$ であることが知られている。InNに関しては、完全な結晶が得られていないため熱膨張係数は不明であるが、仮にInNの熱膨張係数がいちばん大きいと仮定すると、熱膨張係数の順序は $InN > GaN > AlN$ となる。一方、窒化物半導体の成長温度を見てみると、通常MBE法では500℃、MOVPE法では時に900℃以上の高温で成長させる。例えばMOVPE法によるとInGaNで700℃以上、AlGaNであると900℃以上で成長させる。そこで熱膨張係数の大きい活性層を、活性層よりも熱膨張係数の小さいクラッド層で挟んだ素子を高温で形成した後、室温にまで温度を下げると、熱膨張係数の大きい活性層がクラッド層に引っ張られ、活性層とクラッド層の界面に平行方向に引っ張り応力が活性層に作用する。このため、活性層のバンドギャップエネルギーが小さくなり、発光波長が長波長になるのである。つまり活性層の $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ 、 $In_{0.3}Ga_{0.7}N$ 等は第1のクラッド層、および第2のクラッド層よりもInが多い分、熱膨張係数が大きい。従って活性層とクラッド層の界面に平行方向に引っ張り応力が作用し、活性層のバンドギャップエネルギーが小さくなるので通常の活性層のバンド間発光よりも、発光波長を長くすることができるのである。特にその引っ張り応力は活性層を薄くするほど大きくなるので、発光波長をより長波長にすることが可能となる。

【0038】本発明の素子において好ましい態様は、インジウムを含むn型窒化物半導体、またはn型GaNを第1のn型クラッド層として備え、その第1のn型クラッド層に接して、第1のn型クラッド層よりも熱膨張係数が大きいインジウムを含む窒化物半導体よりなる活性層を備え、この活性層を単一量子井戸若しくは多重量子井戸構造とすることによって、本来の活性層のバンドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光が発光される素子であり、この素子において、前記第1のn型クラッド層と前記活性層との総膜厚が300オングストローム以上あることがさらに好ましい。また他の態様として、インジウムを含む窒化物半導体よりなる単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造の活性層を備え、その活性層に接して、活性層よりも熱膨張係数が小さいアルミニウムを含むp型窒化物半導体を第1のp型クラッド層として備え、この活性層を単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造とすることによって、本来の活性層のバン

ドギャップエネルギーよりも低エネルギーの光が発光される素子である。

【0039】従来の窒化物半導体発光素子は、上にも説明したように、InGaNを主とする活性層をAlGaNを主とする2つのクラッド層で挟んだ構造を有している。InGaN活性層をAlGaNクラッド層で挟んだ従来の構造では、活性層の厚さを薄くするに従って、InGaN活性層、AlGaNクラッド層にクラックが生じる傾向にある。例えば、活性層の厚さを200オングストローム未満にするとクラックが多数入ってしまうために素子作製が困難となる。これはAlを含むクラッド層が結晶の性質上、非常に硬い性質を有しており、薄い膜厚のInGaN活性層のみではAlGaNクラッド層との界面から生じる格子不整合と、熱膨張係数差から生じる歪をInGaN活性層で弾性的に緩和できないことを示している。このため、従来ではクラッド層、活性層中にクラックが入るために、活性層を薄くしようとしてもできなかったのが実状であった。

【0040】一方、本発明では図1に示すように、InとGaとを含む活性層6に接する層として、新たに第1のn型クラッド層5を形成している。この第1のn型クラッド層5は、活性層とAlを含む第2のn型クラッド層4の間のバッファ層として作用する。つまり第1のn型クラッド層5であるInを含む窒化物半導体またはGaNは結晶の性質として柔らかい性質を有しているのので、Alを含む第2のクラッド層4と活性層6の格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる歪を吸収する働きがある。従って活性層を薄くしても活性層6、第2のn型クラッド層4にクラックが入りにくいと推察される。第1のクラッド層5によって歪が吸収されるので、活性層は膜厚が200オングストローム以下になると引っ張り応力が作用して弾性的に変形してバンドギャップエネルギーが小さくなり発光波長が長くなる傾向にある。しかも活性層の結晶欠陥が少なくなる。従って、活性層の膜厚が薄い状態においても、活性層の結晶性が良くなるので発光出力が増大する。このように第1のn型クラッド層5をバッファ層として作用させるためには、結晶が柔らかい層である活性層6と第1のn型クラッド層5との膜厚の合計が300オングストローム以上あることが好ましい。

【0041】また、第1のp型クラッド層はアルミニウムを含む窒化物半導体で形成すると、出力が向上する。これはAlGaNが他の窒化物半導体に比べて、p型化しやすいか、あるいはInGaNよりなる活性層の分解を、第1のp型クラッド層成長時に抑える作用があるためと推察されるが、詳しいことは不明である。

【0042】窒化物半導体よりなる本発明の発光素子を製造するには、例えばMOVPE（有機金属気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）、HDVPE（ハイドライド気相成長法）等の気相成長法を用いて、基板上

に $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 \leq a, 0 \leq b, a+b \leq 1$) を n 型、p 型等の導電型でダブルヘテロ構造になるように積層することによって得られる。基板には例えばサファイア (C 面、A 面、R 面を含む)、SiC (6H-SiC、4H-SiC も含む)、スピネル (MgAl_2O_4 、特にその (111) 面)、ZnO、Si、GaAs、あるいは他の酸化物単結晶基板 (NGO 等) が使用できる。また、n 型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、Si、Ge、S 等のドナー不純物を結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。また p 型の窒化物半導体層は Mg、Zn、Cd、Ca、Be、C 等のアクセプター不純物を同じく結晶成長中に半導体層中に導入するか、または導入後 400℃ 以上でアニーリングを行うことにより得られる。

【0043】

【実施例】以下本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。以下の実施例は、MOVPE 法による窒化物半導体層の成長方法を例示している。

実施例 1

本実施例を図 1 を参照して記述する。

【0044】TMG (トリメチルガリウム) と NH_3 とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板 1 の C 面に 500℃ で GaN よりなるバッファ層 2 を 500 オングストロームの膜厚で成長させた。

【0045】次に温度を 1050℃ まで上げ、TMG、 NH_3 に加え SiH_4 ガスを用い、Si ドープ n 型 GaN よりなる n 型コンタクト層 3 を 4 μm の膜厚で成長させた。

【0046】続いて原料ガスに TMA (トリメチルアルミニウム) を加え、同じく 1050℃ で Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 層よりなる第 2 のクラッド層 4 を 0.1 μm の膜厚で成長させた。

【0047】次に、温度を 800℃ に下げ、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、 NH_3 および SiH_4 を用い、Si ドープ n 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第 1 の n 型クラッド層 5 を 500 オングストロームの膜厚で成長させた。

【0048】続いて TMG、TMI および NH_3 を用い、800℃ で ノンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる活性層 6 (単一量子井戸構造) を 30 オングストロームの膜厚で成長させた。

【0049】さらに、TMG、TMI、 NH_3 に加え新たに Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い 800℃ で Mg ドープ p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第 1 の p 型クラッド層 7 を 500 オングストロームの膜厚で成長させた。

【0050】次に温度を 1050℃ に上げ、TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg を用い、Mg ドープ p 型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第 2 の p 型クラッド層 8 を 0.1 μm の膜厚で成長させた。

【0051】続いて、1050℃ で TMG、 NH_3 および Cp_2Mg を用い、Mg ドープ p 型 GaN よりなる p 型コンタクト層 9 を 0.5 μm の膜厚で成長させた。以上の操作終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700℃ でウェーハのアニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化した。次に、最上層の p 型コンタクト層 9 の表面に所定の形状のマスクを形成し、n 型コンタクト層 3 の表面が露出するまでエッチングした。エッチング後、n 型コンタクト層 3 の表面に Ti と Al よりなる負電極、p 型コンタクト層 9 の表面に Ni と Au よりなる正電極を形成した。電極形成後、ウェーハを 350 μm 角のチップに分離した後、常法に従い半値角 15 度の指向特性を持つ LED 素子とした。この LED 素子は If (順方向電流) 20 mA で Vf 3.5 V、発光ピーク波長 410 nm の青色発光を示し、発光出力は 5 mW であった。さらに、発光スペクトルの半値幅は 20 nm であり、非常に色純度のよい発光を示した。

【0052】実施例 2

20 活性層を $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ で形成し、その膜厚を 10 オングストロームとした以外は実施例 1 と同様にして LED 素子を作製した。この LED 素子は、If 20 mA において、発光ピーク波長 425 nm の青紫色発光を示し、発光出力が 5 mW と非常に優れた特性を示し、発光スペクトルの半値幅も 20 nm と色純度のよい青色発光を示した。

【0053】実施例 3

活性層 6 を ノンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ で形成した以外は実施例 1 と同様にして LED 素子を作製した。この LED 素子は、If 20 mA において、発光ピーク波長 465 nm の青色発光を示し、発光出力が 5 mW と非常に優れた特性を示し、発光スペクトルの半値幅も 25 nm と色純度のよい青色発光を示した。

【0054】実施例 4

第 1 の p 型クラッド層 7 を形成しない以外は、実施例 1 と同様にして LED 素子を作製した。この LED 素子は、If 20 mA で Vf 3.5 V、発光ピーク波長 425 nm の青色発光を示し、同じく発光出力は 7 mW であった。さらに、発光スペクトルの半値幅は 20 nm であった。この発光素子は活性層に AlGaIn よりなる第 2 のクラッド層 8 が直接接しているため活性層の引っ張り応力が大きくなりピーク波長が長波長になると共に、発光出力が増大した。

【0055】実施例 5

50 第 1 の n 型クラッド層 5 として Si ドープ n 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ を 300 オングストロームの膜厚で成長させ、次に活性層 6 として ノンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ を 10 オングストロームの膜厚で成長させ、次に第 1 の p 型クラッド層 7 として Mg ドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層を 300 オングストロームの膜厚で成長させた以外は

Saw

実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20 mAにおいて、Vf 3.5 V、発光ピーク波長500 nm、半値幅40 nmの緑色発光を示し、発光出力3 mWと非常に優れた特性を示した。

【0056】実施例6

実施例1の手法において、n型コンタクト層3を成長させた後、次に直接膜厚70オングストロームのIn_{0.4}Ga_{0.6}Nからなる単一量子井戸構造の活性層6を成長させた。なお、本素子において、n型コンタクト層3が第1のn型クラッド層として作用している。次に活性層6の上に、第2のp型クラッド層8を成長させ、最後にp型コンタクト層9を成長させた。これ以降は実施例1と同様にして発光素子を作製した。このLED素子は、If 20 mAにおいて、Vf 3.5 V、発光ピーク波長525 nm、半値幅40 nmの緑色発光を示し、発光出力4 mWと非常に優れた特性を示した。

実施例7

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型GaNを300オングストロームの膜厚で成長させ、次に活性層6としてノンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nを20オングストロームの膜厚で成長させ、次に第1のp型クラッド層7としてMgドープp型GaN層を300オングストロームの膜厚で成長させた以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20 mAにおいて、Vf 3.5 V、発光ピーク波長515 nm、半値幅40 nmの緑色発光を示し、発光出力3 mWであった。

【0057】実施例8

アクセプター不純物源としてDEZ（ジエチルジンク）、ドナー不純物源としてSiH₄を用い、活性層6としてSiとZnをドープしたn型In_{0.05}Ga_{0.95}N層を50オングストロームの膜厚で形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、このLED素子はIf 20 mAにおいて、Vf 3.5 V、発光ピーク波長480 nm、半値幅80 nmの緑色発光を示し、発光出力2 mWであった。

【0058】実施例9

活性層をノンドープIn_{0.8}Ga_{0.2}Nで形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLEDは、If 20 mAでVf 3.5 V、発光ピーク波長、40650 nmの赤色発光を示し、発光出力は0.7 mWであった。

【0059】実施例10

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型In_{0.01}Ga_{0.99}Nを500オングストロームの膜厚で形成した。次に活性層6を形成するために、井戸層としてノンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nを10オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nを10オングストロームの厚さに形成し、これを交互に4回づつ繰り返し、最後にノンドープのIn

0.15Ga_{0.85}N井戸層を10オングストローム形成して、総厚90オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した。次に、活性層の上に第1のp型クラッド層として、Mgドープp型In_{0.01}Ga_{0.99}Nを500オングストロームの膜厚で形成する。その他は実施例1と同様にしてサファイアの上に所定の窒化物半導体を積層したウェーハを作製した。

【0060】しかる後、実施例1と同様にして窒化物半導体層をエッチングした後、最上層であるp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3に20 μmの幅で負電極、p型コンタクト層9に2 μmの幅で正電極をそれぞれ形成した。

【0061】ついで、窒化物半導体層を形成していない方のサファイア基板面を研磨して基板の厚さを90 μmにし、サファイア基板表面のM面（六方晶系において六角柱の側面に相当する面）をスクライブする。スクライブ後、ウェーハを700 μm角のチップに分割し、図3に示すようなストライプ型のレーザを作製した。なお、図3は本実施例によるレーザ素子の斜視図を示しており、ストライプ状の正電極と直交した窒化物半導体層面を光共振面としている。次に、このチップをヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンドした後、レーザ発振を試みたところ、常温において、しきい値電流密度1.5 kA/cm²で発振波長415 nmのレーザ発振が確認された。

【0062】実施例11

第1のn型クラッド層5としてSiドープn型In_{0.01}Ga_{0.99}Nを500オングストロームの厚さに形成した後、活性層6を形成するために井戸層としてノンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nを25オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nを50オングストロームの厚さに形成する操作を交互に13回づつ繰り返し、最後にノンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nを25オングストロームの厚さに形成して合計膜厚1000オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した。これ以外は実施例10と同様にしてレーザ素子を作製した。このレーザ素子は、常温で、しきい値電流密度1.0 kA/cm²で415 nmの発振波長のレーザ発振が確認された。

【0063】実施例12

活性層6を形成するために井戸層としてノンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nを25オングストロームの厚さに形成し、その上に障壁層としてノンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nを50オングストロームの厚さに形成する操作を交互に26回づつ繰り返し、最後にノンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nを25オングストロームの厚さに形成して合計膜厚1975オングストロームの多重量子井戸構造の活性層を形成した以外は実施例11と同様にしてレーザ素子を作製した。このレーザ素子は、常温で、しきい値電流密度1.0 kA/cm²で415 nmの発振波長の

レーザ発振が確認された。

【0064】実施例13

実施例3で得られた450nmの青色LEDと、実施例5で得られた515nmの緑色LEDと、従来のGaAs系材料またはAlInGaP系の材料よりなる発光出力3mW、660nmの赤色LED一個づつを1ドットとし、このドットを16×16で組み合わせてLEDパネルにし、そのLEDパネルを並べて320×240画素のフルカラーLEDディスプレイを作製したところ、白色の発光輝度で一万ニットの面発光を達成した。

【0065】

【発明の効果】本発明においては、熱膨張係数の小さいクラッド層で熱膨張係数の大きい活性層を挟むことにより、活性層に引っ張り応力がかかるので、活性層のバンドギャップエネルギーが本来のそれより小さくなり、発光波長を長波長にすることができる。しかもInを含む窒化物半導体よりなる活性層に接して、熱膨張係数の小さいInを含む窒化物半導体またはGaNよりなる第1のクラッド層をすると、この第1のクラッド層が新たなバッファ層として作用することにより、活性層が弾性的に変形して結晶性が良くなり発光出力が格段に向上する。例えば従来の青色LEDでは450nmにおいて、光度2cd、発光出力が3mWで半値幅が80nm程度であったが、本発明ではその倍近くの発光出力を達成することができ、半値幅は半分以下と非常に色純度が向上した。また従来では、活性層のインジウム組成比を大きくすると結晶性が悪くなって、バンド間発光で520nm付近の緑色発光を得ることは難しかったが、本発明によると活性層の結晶性が良くなるので、従来では困難であった色純度のよい高輝度な緑色LEDも実現できる。

【0066】また、本発明の素子では活性層の井戸層の厚さが薄く、また多重量子井戸構造では各層の厚さが臨界膜厚以下となっているので、クラッド層と活性層との熱膨張係数差により活性層に引っ張り応力が働いても活性層は弾性的に変形し、InGaN活性層中に引っ張り応力による結晶欠陥、または活性層とクラッド層との間の格子不整合による結晶欠陥が生じない。また活性層が弾性的に変形するので、InGaNの価電子帯のエネルギー縮退が解けて正孔のエネルギー状態密度が減少し、

電子と正孔がInGaN活性層に注入された場合、反転分布が起こりやすくなりレーザ発振のしきい値電流が低減してレーザ発振が起こりやすいという効果もある。

【0067】一方、従来のLED、LD（レーザダイオード）は同一組成の活性層の厚さが1000～2000オングストロームあり非常に厚く、活性層が弾性的に変形する臨界膜厚を超えているので、活性層中に引っ張り応力による結晶破壊が生じており、多数の結晶欠陥が活性層中に生じている。このため、従来のLEDでは電流20mAでノンドープの活性層ではIn組成比0.05で発光出力0.1mW以下しか発光しなかったが、本発明では数mW以上の発光出力を達成することができた。

【0068】以上説明したように本発明の素子によると、従来は実現できなかった高輝度の緑色LEDが初めて実現し、実用化可能となる。この効果は非常に大きく、実施例13に示すように高輝度フルカラーLEDディスプレイが初めて作製可能となり、また照明用光源、読み取り用光源等、その産業上の利用価値は多大なものがある。

20 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す概略断面図。

【図2】 活性層の厚さと発光素子の発光ピーク波長との関係を示すグラフ図。

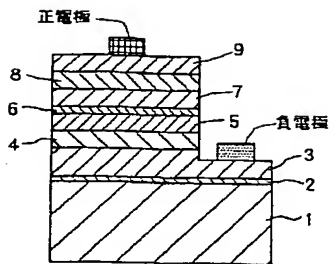
【図3】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体レーザ素子の構造を示す斜視図。

【図4】 従来のLED素子のピーク発光波長と発光出力の関係を示すグラフ図。

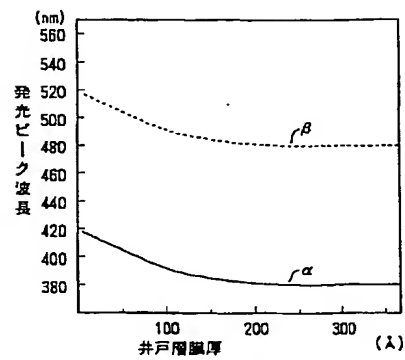
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…バッファ層
- 3…n型コンタクト層
- 4…第2のn型クラッド層
- 5…第1のn型クラッド層
- 6…活性層
- 7…第1のp型クラッド層
- 8…第2のp型クラッド層
- 9…p型コンタクト層

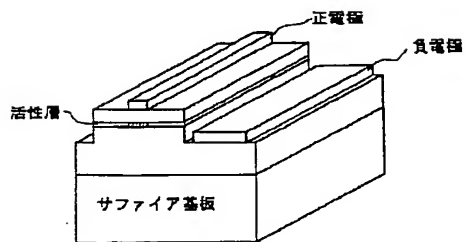
【図1】



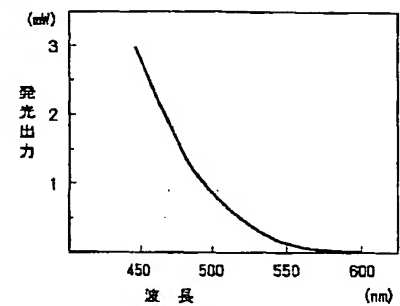
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平6-305259
 (32) 優先日 平6(1994)12月9日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(31) 優先権主張番号 特願平7-57050
 (32) 優先日 平7(1995)3月16日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平7-57051
 (32) 優先日 平7(1995)3月16日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

